

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-210918

(43)Date of publication of application : 15.08.1997

(51)Int.CI.

G01N 21/88
H01L 21/66

(21)Application number : 08-035480

(71)Applicant : HITACHI ELECTRON ENG CO LTD

(22)Date of filing : 30.01.1996

(72)Inventor : HACHIKAKE YASUO
IIZUKA SHIGEHARU

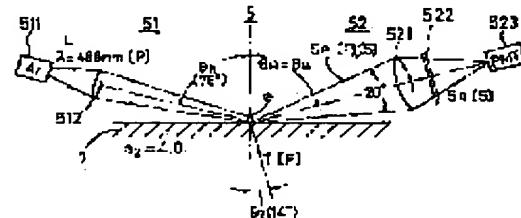
(54) FOREIGN MATTER SENSING OPTICAL SYSTEM FOR SURFACE OF SILICON WAFER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the S/N ratio of the diffused light from foreign matter by emitting a laser beam in P-polarization from a laser source, minimizing the positive reflection light in P-polarization from the surface, and extracting the S-polarized component of the diffused light in random polarization due to foreign matter.

SOLUTION: A laser beam in P-polarization is emitted from a laser source of a light projection system 51 and projected onto the surface of a silicon wafer 1 at a polarization angle of β_B . Therefore the positive reflection light in P-polarization from the surface is minimized, near zero substantially, and is removed by an S-polarizing filter 522 of the light reception system 52, and the influence of the foreign matter (e) on the diffused light is nullified. Beams of the diffused light in random polarization from an oxide layer and crystal flaws existing at the surface and in the inside are partially converged by a condenser lens 521 in the light reception system

52, but their P-polarized components are removed by the S-polarizing filter 522 to result in a decrease in the intensity, so that the diffused light from foreign matter (e) existing at the surface will be received by a light receiving device with no drop of the S/N ratio, and it is possible to sense foreign matter having as small a diameter as below $0.1\mu\text{m}$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-210918

(43)公開日 平成9年(1997)8月15日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 1 N 21/88
H 0 1 L 21/66

識別記号
G 0 1 N 21/88
H 0 1 L 21/66

府内整理番号

F I
G 0 1 N 21/88
H 0 1 L 21/66

技術表示箇所
E
J

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全6頁)

(21)出願番号 特願平8-35480

(22)出願日 平成8年(1996)1月30日

(71)出願人 000233480
日立電子エンジニアリング株式会社
東京都渋谷区東3丁目16番3号

(72)発明者 八掛 保夫
東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子
エンジニアリング株式会社内

(72)発明者 飯塚 鑑晴
東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子
エンジニアリング株式会社内

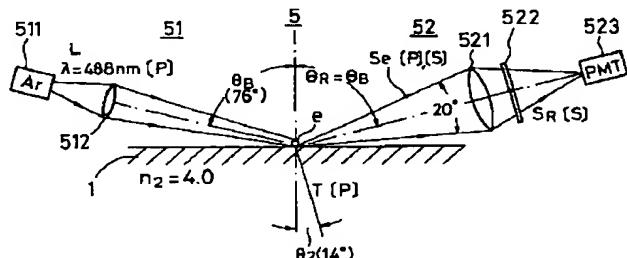
(74)代理人 弁理士 梶山 信是 (外1名)

(54)【発明の名称】シリコンウエハ表面の異物検出光学系

(57)【要約】

【課題】シリコンウエハの表面または内部に存在する、結晶欠陥と酸化物層によるノイズを減少して、表面に存在する0.1 μ m以下の異物を検出する。

【解決手段】波長488nmのP偏光のレーザビーム L_T を出力するアルゴンレーザ発振管511と、これを集束してウエハ1の表面に対してブリュースター角 θ_B で投射する集束レンズ512とよりなる投光系51と、光軸がブリュースター角 θ_B と等しい受光角 θ_R に設定され、約20°の集光角を有する集光レンズ521と、S偏光フィルタ522、および光電子増倍管523よりなる受光系52とにより構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】屈折率nのシリコンウエハの表面に対し、レーザ光源よりP偏光のレーザビームをブリュースター角 θ_B で投射し、該投射されたレーザビームの該表面によるP偏光の正反射光を零に近い極小値とする投光系と、該投光系に対して対称的に設けられ、光軸が該ブリュースター角 θ_B に等しい受光角 θ_R に設定され、適当な集光角を有し、該表面に存在する異物によるランダム偏光の散乱光を集光する集光レンズと、該集光された散乱光のS偏光成分を抽出するS偏光フィルタ、および該抽出されたS偏光成分を受光して、異物信号を出力する受光器よりなる受光系とにより構成されたことを特徴とする、シリコンウエハ表面の異物検出光学系。

【請求項2】前記投光系のレーザ光源は、波長入が488nmの前記P偏光のレーザビームを出力するアルゴンレーザ管を使用し、該波長入に対する前記シリコンウエハの屈折率nを4.0、該屈折率nに対する前記ブリュースター角 θ_B を76°とし、前記受光系の受光角 θ_R を約76°に、前記集光レンズの集光角を約20°にそれぞれ設定したことを特徴とする、請求項1記載のシリコンウエハ表面の異物検出光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、シリコンウエハの表面に存在する異物を検出するための光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体ICの素材のシリコンウエハは、高純度の多結晶シリコンから、引き上げ法などにより単結晶シリコンのインゴットを作り、これをスライスして薄板とし、その表面を研磨して鏡面に仕上げて製作され、さらに表面に付着した異物を洗浄して使用される。この洗浄にもかかわらず、いくらかの異物が表面に残留することがあり、これが残留するとICの品質を阻害するので、異物検査装置により異物の有無が検査され、もし有るときはさらに洗浄が繰り返されるなどの措置がとられている。

【0003】図6により従来の異物検査装置の概要を説明する。(a)は異物検査装置の基本構成を示し、回転・移動テーブル2と、検査光学系3、およびデータ処理部4などによる。被検査のシリコンウエハ(以下単にウエハ)1は回転・移動テーブル2に載置され、これに対して検査光学系3のレーザ光源31が出力するレーザビーム L_T は、コリメータレンズ32により平行とされ、ミラー33を経て集束レンズ34によりスポット S_p に集束されてウエハ1の表面に垂直に投射される。回転・移動テーブル2の回転と半径方向の移動により、スポット S_p はウエハ1の表面をスパイラル状に走査してウエハ1の全面が走査される。表面に異物eが存在すると、(b)に示すように、スポット S_p は異物eによりランダムな方向

に散乱光 S_e を散乱し、その一部は光軸が45°をなす集光レンズ35により集光されて光電子増倍管(PMT)36に受光され、その出力信号はデータ処理部4の異物検出回路41に入力し、これに設定された適当な閾値vに比較されてノイズが除去され、異物eとその大きさが検出される。検出された大きさデータはデータ編集回路42に入力し、異物eのXY座標値が付加されて異物データが編集され、プリンタ43によりプリントされてマップ表示される。

【0004】上記の検査光学系3においては、レーザ光源31として、短い波長のレーザを発振するアルゴンレーザ管を使用し、スポット S_p の直径を微小な数 μm として強度を強くし、集光レンズ35には集光角の大きいものを使用して散乱光 S_e を有効に集光し、またPMT36は大きい增幅率を有するので、異物eは0.15 μm 程度の直径まで検出可能とされている。

【0005】最近におけるICメモリの集積密度は16メガビットから64メガビットまたはそれ以上に向上しており、16メガビット以下のICメモリの異物管理は、0.2 μm 以上の直径のものが有害とされていたが、64メガビット以上の場合は、0.1 μm 以下の異物も品質を阻害するものとされている。これに対して、上記のスポット S_p の強度や、集光レンズ35の集光角、PMT36の增幅率などをさらに増強しても、これに伴ってノイズが増加するため、0.1 μm 以下の異物eの検出は困難である。このノイズの原因は種々あるが、その中には、ウエハ1の製造過程で生じ、表面または内部に存在する結晶欠陥(COP; crystal Originated Particle)や酸化物層(OSF; Oxidation Induced Stacking Fault)があり、これらが散乱する散乱光がノイズとなって、異物の散乱光 S_e のS/N比が劣化するからである。

【0006】図7は、COPとOSFのモデルを示す断面図で、COPはウエハ1の表面に皿状をなして浅く、またはやや深く存在し、または内部にも存在する。OSFも同様に表面や内部に存在し、これらは異物eと同様にレーザビーム L_T を散乱する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】異物eの検出性能を従来以上に向上するためには、COPとOSFによるノイズを減少して、異物eの散乱光 S_e のS/N比を良好とすることが必要である。この発明は、上記の検査光学系3を改善して、COPとOSFによるノイズを減少し、0.1 μm 以下の異物を検出することを課題とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明は、上記の課題を解決したシリコンウエハ表面の異物検査光学系であって、屈折率nのシリコンウエハの表面に対して、レーザ光源よりP偏光のレーザビームをブリュースター角 θ_B で投射し、投射されたレーザビームの表面によるP偏光

の正反射光を零に近い極小値とする投光系と、投光系に對して対称的に設けられ、光軸がプリュースター角 θ_B に等しい受光角 θ_R に設定され、適當な集光角を有し、表面に存在する異物によるランダム偏光の散乱光を集光する集光レンズと、集光された散乱光の S 偏光成分を抽出する S 偏光フィルタ、および抽出された S 偏光成分を受光して、異物信号を出力する受光器よりなる受光系とにより構成される。

【0009】上記の投光系のレーザ光源は、波長 λ が 488 nm の P 偏光のレーザビームを出力するアルゴンレーザ管とし、この波長 λ に対するシリコンウエハの屈折率 n を 4.0、この屈折率 n に対するプリュースター角 θ_B を 76° とし、受光系の受光角 θ_R を約 76° に、集光レンズの集光角を約 20° にそれぞれ設定したものである。

【0010】

$$r [P] = [\tan(\theta_1 - \theta_2) / \tan(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$t [P] = 1 - r [P] \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$r [S] = [\sin(\theta_1 - \theta_2) / \sin(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$t [S] = 1 - r [S] \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 θ_2 はスネルの法則により、次式により決まる。

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

式(1)において、 $\theta_1 + \theta_2 = \pi/2$ のときは $\tan(\theta_1 + \theta_2)$ が無限大となるため、 $r [P]$ は 0 となって正反射光 $R [P]$ は消失し、このときの θ_1 がすなわちプリュースター角 θ_B である。

【0011】さて、この発明においてはシリコンウエハ 1 のプリュースター角 θ_B を知ることが必要であり、これはシリコンの屈折率 n より算出することができる。ただし、一般的にシリコンやガラスなどの屈折率 n は波長 λ に依存して変化するもので、例えば波長 3 μm に対するシリコンの屈折率 n として、3.43 が公表されている（光工学ハンドブック：p307 参照）。しかし、検出光学系に使用するレーザビームの波長 λ は、レーザ光源の種類により異なるので、その波長 λ に対する正確な屈折率 n が欲しい。これに対して、この発明の発明者は、実験によりシリコンウエハ 1 のプリュースター角 θ_B を直接求めている。

【0012】図 2 は、上記の実験データを示す曲線図で、横軸は入射角 θ_1 、縦軸は反射率 r と透過率 t を % で示す。レーザ光源としてアルゴンレーザ管を使用し、これが発振する 488 nm 波長の直線偏光波の角度を変えて、[P] 偏光波と [S] 偏光波を作り、それらをシリコンウエハ 1 の表面に投射し、入射角 θ_1 に対する反射率 $r [P]$ 、透過率 $t [P]$ と、反射率 $r [S]$ 、透過率 $t [S]$ とをそれぞれ測定して図に × で示す実測値がえられている。反射率 $r [P]$ は $\theta_1 = 76^\circ$ で極小値を示すので、これが一応プリュースター角 θ_B とされ、従って屈折角 θ_2 は 14° とされる。

【0013】ここで念のため、このプリュースター角 θ_B

【発明の実施の形態】まず、図 1 および図 2 により、この発明において重要なプリュースター角 θ_B について説明する。図 1 において、屈折率 $n_1 = 1$ の空気側から、屈折率 n_2 の誘電体の表面に対して、[P] 偏光波と [S] 偏光波の光束 L を、それぞれ適當な入射角 θ_1 で投射すると、光束 L は表面により正反射され、また屈折率 n_2 により決まる屈折角 θ_2 を屈折して表面を透過し、誘電体の内部に侵入する。この場合、[P] 偏光波の正反射光 $R [P]$ と透過光 $T [P]$ と、[S] 偏光波の正反射光 $R [S]$ と透過光 $T [S]$ とは、入射角 θ_1 のいかんによりそれぞれ大幅に変化する。いま、 r を表面のエネルギー反射率、 t を表面のエネルギー透過率とすると、[P] 偏光波に対する反射率 $r [P]$ 、透過率 $t [P]$ と、[S] 偏光波に対する反射率 $r [S]$ 、透過率 $t [S]$ は、次の公知の各式により与えられる。

$$r [P] = [\tan(\theta_1 - \theta_2) / \tan(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$t [P] = 1 - r [P] \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$r [S] = [\sin(\theta_1 - \theta_2) / \sin(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$t [S] = 1 - r [S] \quad \dots \dots \dots (4)$$

る。

$$r [P] = [\tan(\theta_1 - \theta_2) / \tan(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

θ_B が正しいか否かを検討してみる。上記の式(5)に、 $\theta_1 = 76^\circ$ 、 $\theta_2 = 14^\circ$ を代入して n_2 を求めると、シリコンウエハの屈折率 $n = 4.0$ がえられる。式(5)の n_2 を 4.0 として種々の θ_1 に対する θ_2 を求め、これらを式(1)～(4)に入れて、 $r [P]$ 、 $t [P]$ 、 $r [S]$ 、および $t [S]$ を算出すると、図に示す計算値がえられた。 $r [P]$ と $t [P]$ の実測値は、プリュースター角 θ_B (76°) の近傍で 1% 程度の差異があるが、これ以外の測定範囲に関しては、計算値とほぼ正確に一致しているので、実測値が正しいことが認められる。ただし、 $r [S]$ と $t [S]$ の実測値は計算値と一致せず、その理由は詳らかでないが、取りあえず不問とする。

【0014】図 3 は、上記の実験結果を踏まえて構成された、この発明の異物検出光学 5 の構成を示す。投光系 51 はアルゴンレーザ発振管 511 をレーザ光源とし、これが発振する波長 488 nm のレーザビーム L_1 を P 偏光波とし、これを集束レンズ 512 により集束して、ウエハ 1 の表面に対してプリュースター角 θ_B (76°) で投射する。表面による正反射光 $R [P]$ の強度は、投射したレーザビーム L_1 の 1% 程度である。一方、表面で屈折した透過光 $T [P]$ の強度は、透過率 $t [P]$ が ~99% であるため、ほとんどが表面を透過して内部に侵入する。ウエハ 1 の減衰率 α は、 $1.28 \times 10^4 / \text{cm}$ とされており、内部に侵入した透過光 $T [P]$ は、深さが例えば、1 μm で 27%、2 μm で 7.7%、3 μm で 2%……などと急激の減衰する。

【0015】受光系 52 は、光軸がプリュースター角 θ_B

と等しい受光角 θ_R に設定され、 20° の集光角を有する集光レンズ521 と S 偏光フィルタ522、およびPMT 523よりなる。上記の 1 % 程度の正反射光 R [P] は、受光系52の集光レンズ521 により集光されるが、S 偏光フィルタ522 により除去されるので PMT 523 には受光されず、また投射したレーザビーム L_T には [S] 偏光波は含まれていないので、その正反射光も存在せず、PMT 523 にはもちろん入射しないので、これらはノイズとならない。これに対して表面に存在する異物 e は、

[P] と [S] の両成分が混在するランダム偏光の散乱光 S_e をランダムな方向に散乱し、その一部が集光レンズ521 により集光され、S 偏光フィルタ522 により

[P] 成分が除去されて [S] 成分が PMT 523 に受光される。

【0016】図4により、COP と OSF の散乱光 S_e とその受光状態を説明する。(a)において、ウエハ1の表面に存在するCOP またはOSF に、レーザビーム L_T [P] が投射されると、これらの形状が平面に近いため、その散乱光 S_e は [P] 成分が [S] 成分より強く、[P] 成分は S 偏光フィルタ522 により除去されて、弱い [S] 成分が PMT 523 に受光されるので、異物 e の散乱光 S_e の S/N 比はほとんど低下しない。(b)

において、ウエハ1の内部に存在するCOP またはOSF に、透過光 T [P] が投射されると、これらはランダム偏光の散乱光 S_e をランダムな方向に散乱し、その一部が集光レンズ521 に入射する。この場合、 20° の集光角の集光レンズ521 の集光範囲は、ウエハ1の表面に対して 25° と 5° の角度範囲であり、両角度は表面に対して低角度であるため、この角度範囲に対応する内部側の角度範囲 $\Delta\theta$ は 1° 程度の微小で、集光レンズ521 に入射する散乱光 S_e は、全体のほんの一部分にすぎない。また、COP, OSF の深さ d が深いと、透過光 T [P] と散乱光 S_e はともに、前記したように内部で減衰する。これらにより集光レンズ521 に集光される散乱光 S_e は大幅に減少して、異物 e の散乱光 S_e の S/N 比をほとんど低下させない。以上により、異物 e の散乱光 S_e は良好な S/N 比で PMT 523 に受光され、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の異物 e の検出が可能とされる。

【0017】上記においては、アルゴンレーザ管511 が発振する 488nm 波長のレーザビームを使用したが、これ以外の、例えばヘリウムネオンレーザ管が発振する 633nm 波長のレーザビームの場合について考察する。 633nm 波長に対するシリコンの屈折率は、取りあえず明確でないが、例えば前記した $3\mu\text{m}$ に対する 3.43 の屈折率に対して、式(5) によりブリュースター角 θ_B を計算すると、 73.7° がえられ、この角度は 488nm に対する 76° と大差がない。 633nm は、 488nm と $3\mu\text{m}$ の間にがあるので、そのブリュースター角 θ_B も 73.7° と 76° の間にあると考えられる。従って、ヘリウムネオンレーザ管を光源とし、上

記と同様の実験を行って 633nm 波長に対するブリュースター角 θ_B を求めて投光系51を構成しても、上記と同様の結果を得ることができる。

【0018】

【実施例】図5は、上記の異物検出光学系5を具備した異物検査装置10の一実施例の構成図を示す。異物検査装置10は、前記した図3の異物検出光学5を有し、ただし投光系51には、コリメータレンズ513 と2個のミラー514, 515 を図示の位置に付加し、受光系52は全く同一とする。また異物検査装置10は、図6の従来の異物検査装置と同様に、回転・移動テーブル2とデータ処理部4とを有する。

【0019】以下、図5により上記の異物検査装置10の動作を説明する。被検査のウエハ1は回転・移動テーブル2に載置されて、回転と半径方向の移動する。これに対して異物検出光学系5のアルゴンレーザ管511 よりの 488nm 波長で P 偏光のレーザビーム L_T は、コリメータレンズ513 により平行とされ、両ミラー514, 515 を経て集束レンズ512 によりスポット S_p に集束されて、ブリュースター角 θ_B ($\sim 75^\circ$ とする) でウエハ1の表面に投射され、スポット S_p がウエハ1の表面をスパイラル状に走査する。

【0020】表面に存在する異物 e のランダム偏光の散乱光 S_e は、受光系52の集光レンズ521 により集光されて、S 偏光フィルタ522 により [S] 成分が抽出される。一方、表面および内部に存在するCOP と OSF は、透過光 T [P] を散乱し、このランダム偏光の散乱光 S_e は、その一部分が集光レンズ521 により集光され、S 偏光フィルタ522 より [S] 成分が抽出され、これが前記した理由により、異物の散乱光 S_e の [S] 成分より弱いので、異物 e の散乱光 S_e は S/N がほとんど低下せずに PMT 523 に受光される。PMT 523 が输出する異物信号はデータ処理部4の異物検出回路41に入力し、これに設定された適当な閾値 v に比較されて微小なノイズが除去され、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の異物 e と、それぞれの大きさとが検出される。以下従来と同様に、検出された大きさデータはデータ編集回路42に入力し、各異物 e の XY 座標値が付加されて異物データが編集され、これがプリンタ43によりプリントされてマップ表示される。

【0021】

【発明の効果】以上の説明のとおり、この発明の異物検出光学系においては、シリコンウエハの表面に対して、投光系のレーザ光源よりの P 偏光のレーザビームをブリュースター角 θ_B で投射することが大きい特徴で、これにより、表面による P 偏光の正反射光は零に近い極小値とされ、さらに受光系の S 偏光フィルタにより除去されて、異物の散乱光に対するその影響が排除され、また表面と内部に存在する結晶欠陥と酸化物層のランダム偏光の散乱光とは、それぞれの一部分が受光系の集光レンズ

により集光されるが、S偏光フィルタによりこれらの[P]偏光成分が除去されて強度が減少するので、表面に存在する異物の散乱光はS/N比が低下することなく受光器に受光され、従来困難であった0.1μm以下の直径の異物までを検出可能とするもので、64メガビット以上の高集積密度のICに対するシリコンウエハの異物検査に寄与する効果には、大きいものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、この発明におけるブリュースター角の説明図である。

【図2】図2は、シリコンウエハの反射率などの実験データを示す曲線図である。

【図3】図3は、この発明の異物検出光学系の構成図である。

【図4】図4は、異物検出光学系における結晶欠陥と酸化物層によるノイズの発生と受光状態の説明図で、(a)は結晶欠陥と酸化物層が表面に存在する場合、(b)は内部に存在する場合である。

【図5】図5は、異物検出光学系を具備した異物検査装置の構成図である。

【図6】図6は、従来の異物検査装置の説明図で、(a)は基本構成図、(b)はレーザビームの異物による散乱光

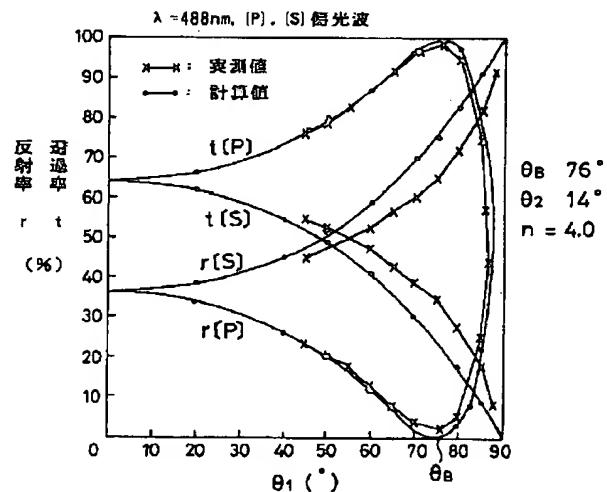
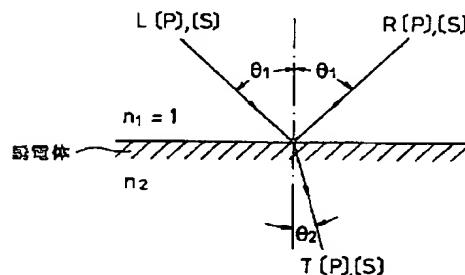
の説明図である。

【図7】図7は、シリコンウエハの表面または内部に存在する、結晶欠陥と酸化物層のモデルを示す断面図である。

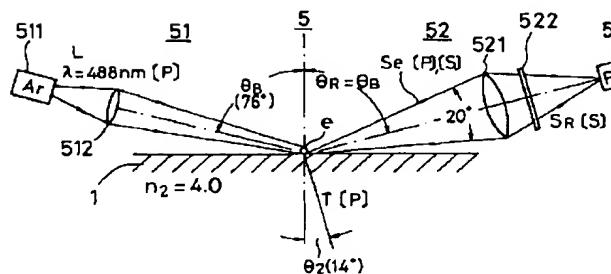
【符号の説明】

1…シリコンウエハ、2…XY移動ステージ、3…従来の異物検査光学系、31…レーザ光源、32…コリメータレンズ、33…ミラー、34…集束レンズ、35…集光レンズ、36…光電子増倍管(PMT)、4…データ処理部、41…異物検出回路、42…データ編集回路、43…プリンタ、5…この発明の異物検出光学系、51…投光系、511…アルゴンレーザ管、512…集束レンズ、513…コリメータレンズ、514, 515…ミラー、52…受光系、521…集光レンズ、522…S偏光フィルタ、523…光電子増倍管(PMT)、10…異物結晶光学系5を具備した異物検査装置、 θ_1 …入射角、 θ_2 …屈折角、 θ_B …ブリュースター角、n…屈折率、λ…波長、e…異物、 S_e …異物の散乱光、r…反射率、t…透過率、 r_P …P偏光波の反射率、 r_S …S偏光波の反射率、 t_P …P偏光波の透過率、 t_S …S偏光波の透過率、COP…結晶欠陥、OSF…酸化物層、 S_e …COPとOSFの散乱光。

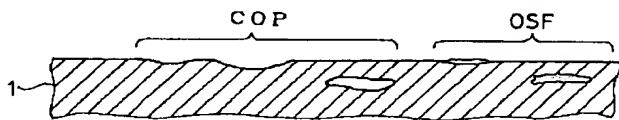
【図1】



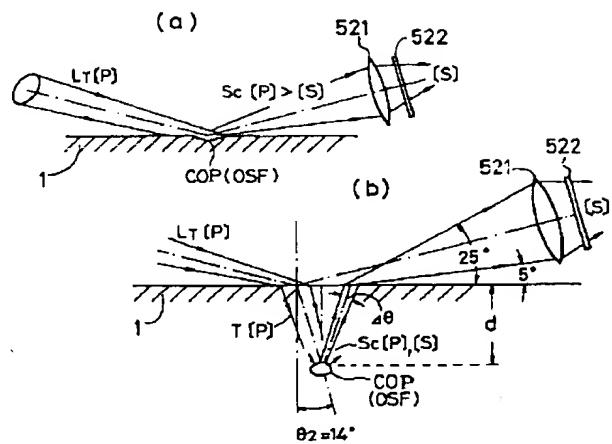
【図3】



【図7】

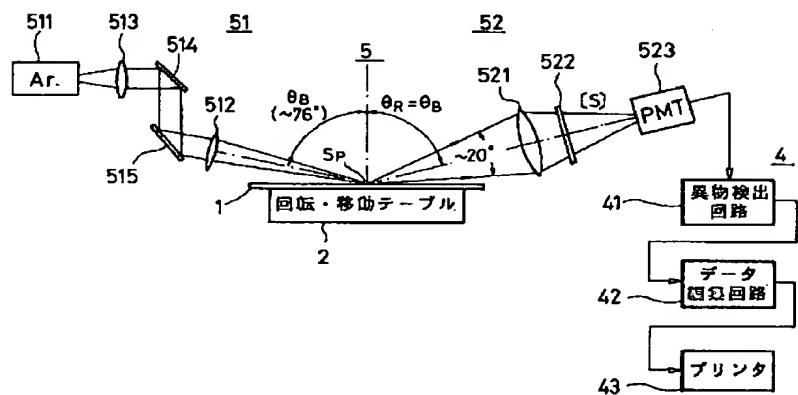


【図4】



【図5】

10



【図6】

